

## 開脚背面とび越し懸垂（トカチエフ）の運動解析

阿部 和雄\*・佐久間裕司\*・小松 敏彦\*\*・石井 喜八\*\*

(昭和 60 年 6 月 3 日受付)

### From Giant Swing Backward: Forward Swing in Hang and Backward Straddle over Bar and Regrasp to Forward Swing in Hang (Tkatshev)

Kazuo ABE, Yuji SAKUMA, Toshihiko KOMATSU and Kihachi ISHII

The purpose of this investigation was to make a kinematic and kinetic analysis for some characteristic movements during the performance of the Tkatshev at the horizontal bar.

Each performance of the Tkatshev was filmed with a 16 mm high speed camera. In order to measure the occurring force directly the horizontal bar was equipped with a strain-gage-bar system. The series of investigations using this strain-gage-bar system was reported up to the present. The film speed was 200 frames per second. Subjects were twomale gymnasts of All Japan Championship level. The results obtained were as follows:

- 1) The angular displacement, velocity and height over the bar during grip release.
- 2) The duration of the flight and the magnitude of the exerted force from releasing the bar to take the grip again.

The average displacement angle between the position of C.G. and the horizontal was from  $0^{\circ}$  to  $45^{\circ}$ . At the movement of grip release, the height of C.G. was 68~72 cm and the velocity was 2.8~3.0 m/s. The height of C.G. during flight over the bar was the same as that at the handstand position (93~97 cm) prior to the down swing. The position of C.G. at the movement of taking grip again was almost horizontal (upward  $7^{\circ}$ ~downward  $11^{\circ}$ ), the velocity at this movement was 4.1~4.5 m/s. The duration required by this flight phase was 0.68 seconds. The maximal value of the vertical force exerted by the strain-gage-bar system was 5.7 times bigger than that of the weight of the performing subject. This value was bigger than that obtained during a Giant swing performance. At the phase of taking grip again, the direction of the force and the horizontal were presented by a range of angles, but the average angle was  $45^{\circ}$ . The maximal value of this force was about 4.5 times bigger than that of the weight of the subject and occurred 0.4 seconds after taking the grip again.

体操競技は年々技術水準が向上し、一流の競技者に成長するには長い年月に亘って、各種の運動技術を獲得しなければならない。ときの進むにつれて獲得する技術の数は多くなり、さらに新しい運動技術の開拓が進み、競技会は難度の高い技術が競われるに至っている。このような高い技術水準に到達するためにどれだけの時間が必要とされ、どの技術から発展するかの系統性はいまだ明らかにされていない。

最近になって、鉄棒運動のいくつかの種類の運動の解

析が、本報告者の一部によって行われてきている。石井と小松<sup>13,14,15)</sup>は鉄棒のバーの両隅にストレンゲージを貼付し、運動中にバーへ加わる力を検出し、さらに、そのバーに加わる力を経時的にベクトル表示をすることにより極座標であらわす試みを報告した。また、それと同時に、16 mm 映画分析法により身体全体の重心軌跡および角速度、角加速度を求め、それらから相対的位置関係をとりえフォームの中での各分節の関り合いを経時的に分析する試みも加えてきた。

\* 体操Ⅱ研究室, \*\* 身体動作学研究室

今回、われわれは日本の代表選手群を対象に鉄棒運動をとらえる機会をもつことができた。そこで、近年流行の側面をも持つ「放れ技」、これは鉄棒から一時的に両手を放し、空中動作中に再び、握り直す難度の高い運動であるが、こゝではソ連のトカチェフ選手によって発表された「開脚背面とび越し懸垂」いわゆる“トカチェフ”を分析することにした。

## 方 法

### a) 記 録 法

体操練習場の一部に放れ技練習のためにスポンジを厚く重ねた場所（ピット）がある。この上に鉄棒が設置されている。この鉄棒のバーの両支点からそれぞれ 20 cm 内側の部位にストレングージを貼付した。ストレングージは各貼付点の垂直方向の歪を検出するために上下に、また、水平方向の歪検出のためには、バーの水平面の両側に 1 枚ずつ貼付されている。したがって、両支点を合せると垂直方向検出のために合計 2 枚、水平方向検出のために計 2 枚貼付されたことになる。これらは垂直と水平方向別に電橋回路が組立てられている。この電橋組立ての利点はこれまでの報告<sup>13,14)</sup>に述べた。

新らたな strain-gage-bar system が組み立てられたので較正を行った。バーの中央に荷重されるように梯子

状の懸垂架台をかけた。この架台は幅 30 cm 長さ 200 cm の鉄製であり、幾段かにピンが出ていて重量あげで用いられるプレートが掛けられるようになっている。重量は 25 kg おきに、300 kg まで荷重していった。中央荷重とは別に、バーの中央から 15 cm ずつ片側にずらして較正曲線を求めた。一方、水平方向に対する力の較正はバーの中央で直角方向約 4 m 離れたギャラリーの壁の上で、バーと同じ高さに滑車を固定し、鉄鋼のワイヤーをバーの中央から滑車を介して垂直方向に重量物を掛けた。重量は 0 kg から 25 kg おきに 200 kg まで加重した。その結果、いずれの場合にも、静的重量と記録ペンの振れ幅（任意の単位）の間には直線関係が認められた。

刻々と変化する動作を記録するために、16 mm フィルム（フジカラー Reversal Film RT500）により高速撮影が行われた。用いられたカメラは Locam 社製の high speed camera であった。フィルム送りの速度は 200 fps である。バーの延長上 20 m 離れたところにカメラを構えた。これよりフィルム枠内に映像ができるだけ大きく入るようにズームレンズで拡大した。フィルムの記録と力～時間曲線の記録を同期させるために event maker を用いて電気信号を発射、記録させた。

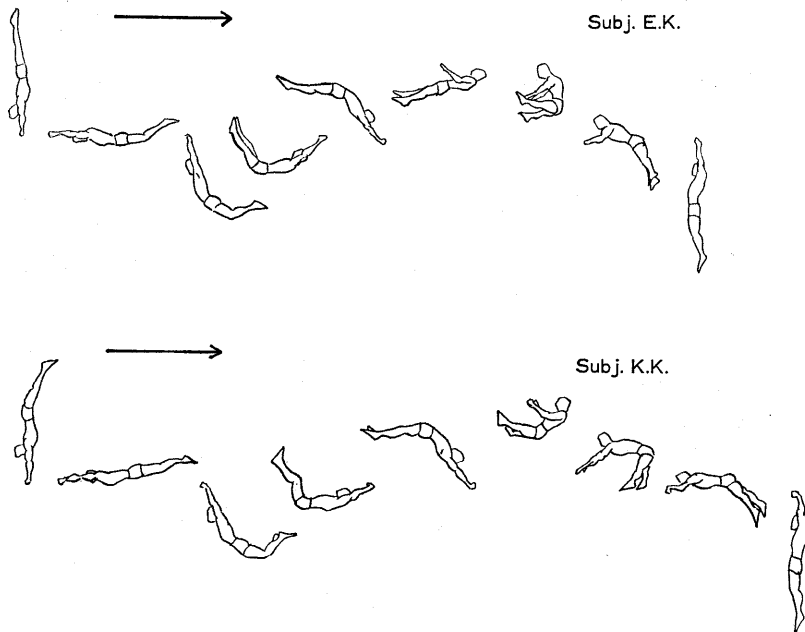


図 1 開脚背面とび越し懸垂（トカチェフ）の運動

## b) 分析法

水平方向および垂直方向に発現したそれぞれの力～時間曲線は同期点において力の大きさが決定され、静止しているバーを基準点として刻々と変化するベクトルであらわしていった。それらのベクトルの先端を結んで求めた曲線が極座標曲線である。

一方、記録されたフィルムは NAC 社製 Motion Analyzer (Sportias G. P. 2000) によって運動中の身体重心点が求められた。そして、一連の運動中の重心点からバーまでの半径の角加速度が算出された。一方、上肢、体幹、下肢の3分節それぞれが比較的伸展位を独立的に維持していたので、各分節の角速度を求めた。

被検者となった選手は全日本選手権大会で上位を確保できる大学選手の2名である。

## c) 開脚背面とび越し懸垂の運動

観察によるこの運動の表現は次のようである。順手車輪からできるだけ上昇への速度をあげるよう振り上げる。身体がバーの高さにきたときにバーを頼りに両肩を急激に引き上げ、両手をバーから放すと、身体全体は後上方向に浮かび上がる。手を放すときの姿勢は上向きであり、手を放したあと身体はバー上にかなり浮き上がった位置にある。そして、身体は一時伸身の状態をつくるが、その後屈身となり上体は下向きの状態を経過しながら懸垂体勢を迎えている。

空中において両腕はバランスを保つため、やや開いている。このとき脚は左右に大きく開かれ、左右対称の姿勢でバーをとび越している。腰の位置がバーの高さにきたとき、バーを握っている。バーと腰との相対的位置関係を保つために、上肢または下肢を開いたり、身体全体を伸展したりする。両手でバーを握り、落下する身体を

受けとめ、そして、再び懸垂振動に入っている。

図1でも認められるように、E. K. 選手の運動は円滑に運ばれていることがわかる。

## 結果および考察

## (1) 力～時間曲線

得られた力～時間曲線の1例が図2に示されている。この図は被検者 E. K. のものである。横軸は時間経過が秒の単位であらわされている。縦軸はバーに加わった力が Neuton で示されている。図中の黒丸のプロットであらわされる曲線は上方が振り下し期、下方が振り上げ期の水平方向に加わる力をあらわしている。白丸は垂直方向に加わる力であり、上方がバーの下側に加わったときのものである。図中、垂直の破線は円の運動の4象限にあらわされる局面の区分を示している。そして、2.0

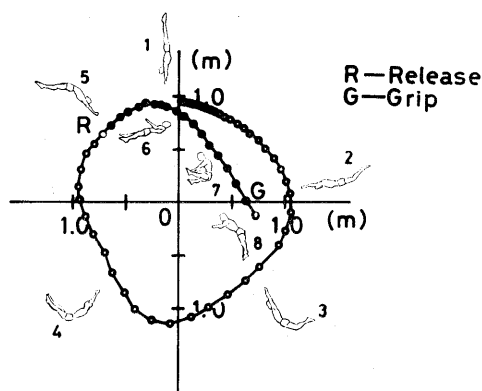


図3 身体重心点の軌跡  
被検者 E. K.

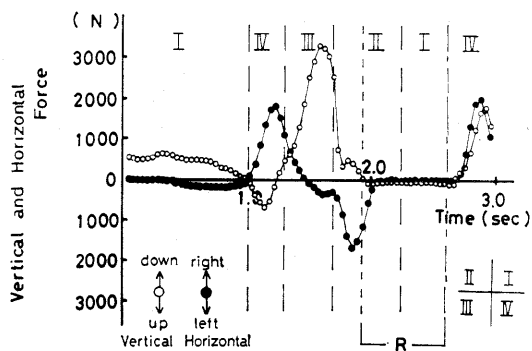


図2 開脚背面とび越し懸垂（トカチェフ）運動から得られた力～時間曲線  
○は垂直方向、●は水平方向に働く力

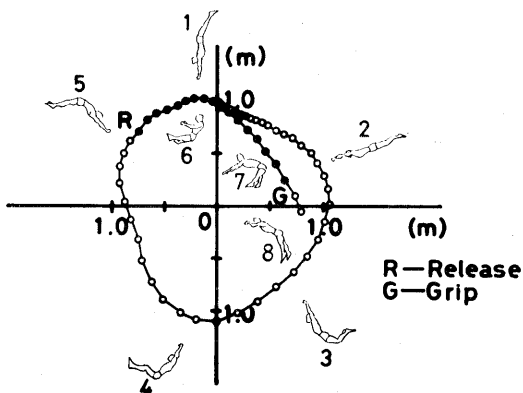


図4 身体重心点の軌跡  
被検者 K. K.

秒から始まる R の期間はバーを放している時期を示している。当然ながら、いずれの方向にも力は発現していない。そして第 2 象限に入ってから握り直していることがわかる。

## (2) 身体重心点の軌跡

鉄棒のバーの無負荷の状態を基点として、身体重心点の軌跡は大雑把にとらえると円を描いているようにみえる。図 3 は被検者 E. K. 選手があらわしたものであり、図 4 は K. K. 選手が示したものである。図はすべて時計回りの方向に運動をしている。曲線上の白丸は鉄棒のバーに両手が触れている間の軌跡であり、黒丸は両手がバーから放れている間の軌跡である。振り上げの角速度の減衰を制御するために、第 3 象限における重心からバーまでの距離を短くしているが、これは既にその前の局面である第 4 象限から生じている。そして、バーの真下を通過するときに、この円とみられる重心軌跡の半径が最大になっているところから、振り下しの第 4 象限では身体をそらせ、振り上げの第 3 象限では関節を屈して重心を近づけていることがうかがえる。

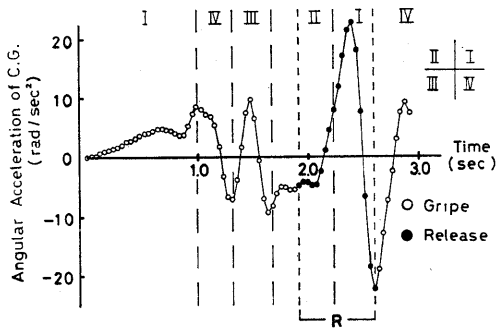


図 5 身体重心点の角加速度  
被検者 E. K.

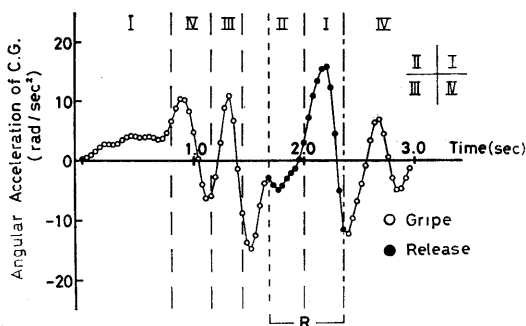


図 6 身体重心点の角加速度  
被検者 K. K.

## (3) 身体重心点の角加速度

鉄棒運動ではバーと身体重心の距離をかえることによって角加速度を変化させている。上肢と体幹の作る角度あるいは体幹と下肢の作る角度を変えて、バーと身体重心の距離を変えるのである。図 5 と図 6 は身体重心点の角加速度曲線である。この図が示すプラスは身体重心点をバーに近づけることによって加速度が上昇したことを示し、また、マイナスは身体が伸展したことにより重心点までの距離は大きくなって角加速度は減少する。

それぞれの図とも、バーの水平面の位置を過ぎる少し前からバーに重心点を近づけ（反り身になり）バーの真下を通過するときに全身が伸展し、それを過ぎると再び重心をバーに近づけ（前方屈曲）ている。ここまではほぼ同様のパターンを示している。ここで、振り上がり局面のバーの水平面を過ぎ、さらに、振り上げるとき E. K. 選手はほぼ一定加速度を示すことから重力に身をまかせていることがうかがえるが、K. K. 選手は急激な減速度を示す。ここで、手を放す時までには加速度をとり戻すが、それからの加速度不足で、空中姿勢中の最大加速度が獲得されていない。手を放す前の変換から加速されていく、加速度の絶対値をみると、E. K. 選手を上回る加速度を得ているので、振り上げ局面におけるバーの水平面を越えてからの身体の伸展がこのような結果をもたらしたものとといえるだろう。

## (4) 上肢、体幹、下肢の 3 分節の角変位

それぞれの分節について角変位をとらえ、図にあらわしてみた。それが図 7 と図 8 である。ふたつの図はそれぞれ近似している。3 つの分節の角変位は全体として指数関数を示す曲線にみえるが、各分節ごとにみると、体幹の分節が経時的に変化がもっとも少く、これを中心に

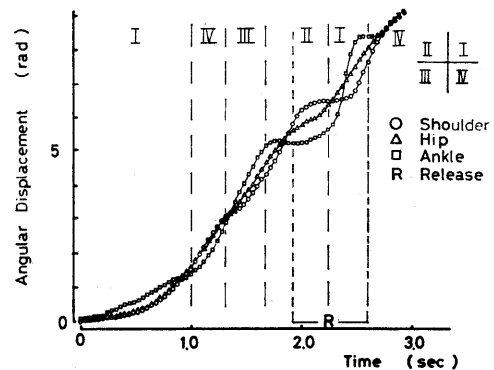


図 7 選択された 3 分節の角変位  
被検者 E. K.

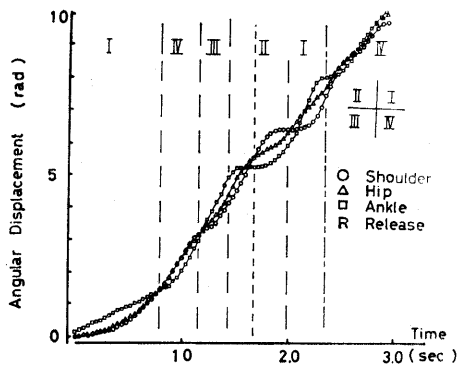


図 8 選択された3分節の角変位  
(被検者 K. K.)

上肢と下肢の角変位曲線が何回か交替している。体幹の曲線に対して上側に位置することは、上肢を体幹の前方に、振り下げているときに相当する。また、下肢についての曲線では、股関節の屈曲動作に相当することになる。

3つの曲線を相対的にみると、上肢の曲線が左側にきたときには、下肢の曲線は右側に迂曲を起す。これは上肢を振り上げたときには股関節が伸展することを示している。このように、体幹部を中心に、上肢と下肢の伸展と屈曲は連動を起しているようにみえる。そして、図7のE.K.選手はこの運動の動作が、K.K.選手よりも大きくあらわれていることが知られる。

#### (5) 上肢、体幹、下肢の3分節の角速度

3つの分節のそれぞれの角速度を求め、時間の経過に伴う変化の関係を図にした。それが図9と図10である。それぞれの図を比較すると、“トカチェフ”に入るための手を放すときまで、各分節の角速度は変わらないようにみえる。ただ、E.K.選手は上肢の角速度がやや低下を始めたところで手を放している。一方、K.K.選手は上肢の角速度が最大に近いところで手を放すのである。これは肩峰点の速度調節なしに手を放していることになる。

第2の特徴はバーの真上を越え、落下を始めてからの体幹と下肢の角速度の変化である。E.K.選手は体幹の角速度を4.7 rad/sのところまで、ほぼ一定に保ち、下肢の角速度を15 rad/sまで大きく変化させ、そして急激に低下させている。これは下肢の空間位置が決まったことをあらわしていると思われる。そして、上肢の角速度を8 rad/sにまで動かしてバーを把持している。ところが、K.K.選手ではバーの真上を過ぎたところで体幹の角速度を一度低下させている。そのためか、下肢の角速度は9.3 rad/sで低下を始めている。おそらく、下肢が伸展

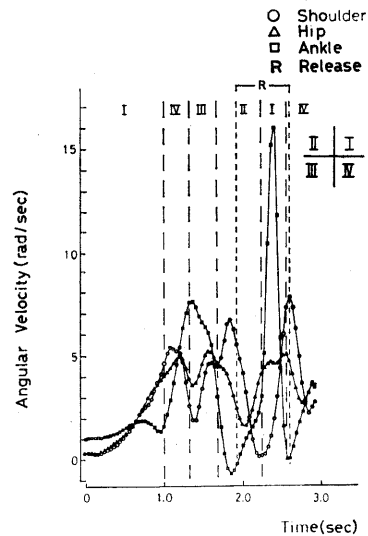


図 9 選択された3分節の角速度  
(被検者 E. K.)

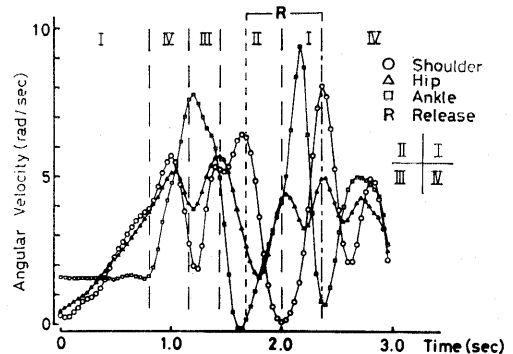


図 10 選択された3分節の角速度  
(被検者 K. K.)

しきれなかったのではないかとと思われる。

#### (6) バーに加わる力の極座標

E.K.選手とK.K.選手が“トカチェフ”を行ったときの鉄棒のバーに加わる力の極座標を求めてみた。極座標の基点は静止しているバーとしている。各極座標は時計回りに運動が行われたときのものであり、バーに力がかかるのは把持している局面だけのものである。

図9はE.K.選手が運動を行ったときのものである。バーの真上で倒立をしている時間は車輪運動に比較してきわめて長い。バーを突き放し垂直線85度の方向、順手車輪に似た運動で始まるが、バーにあらわれた力をみると、斜上方向（垂直線に対して55度）から引きあげ

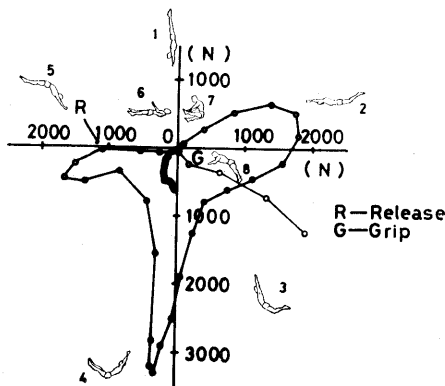


図 11 開脚背面とび越し懸垂の極座標  
(被検者 E. K.)

始めているのが特徴である。バーの水平面を過ぎると、水平方向の力は急激に減少する。これは身体重心をバーに近づけるためにフォームを変える（反り身）が、この意味は把握力（バーに生ずるモーメント）を変えず、遠心力を小さくし、さらに垂直下方へ力を加えていく。バーの真下を越えてからの最大値は約 3300 N であり、これは体重の約 5.6 倍を示す。これに続く局面では、殆んど垂直方向に力を加え、バーの水平面に対して 18 度下方に約 1750 N を越える力が発現する。これはバーを頼りに肩・胸を上方に持ち上げるため、手はこの方向に動かし、その結果がバーを引いたものと考えられる。バーを握っての回転運動による上昇と空中姿勢を変えるときにバーに加わった力の合成は作用方向をバーの水平面に平行な方向へと修正していく。バーの水平面に近くなり、両手はその水平面に対して 32 度の下後方向（頭部背面方向の意味）にバーを引く。そこで、両手を放すのである。おそらく、このバーを引く力と両腕を腹部前まで振り下してくるモーメントが体幹に伝達され、空中姿勢中、体幹に回転運動が生じて起き上がる（切り返し）動作になるのであろう。

一方、K. K. 選手の極座標を図 10 に示した。車輪運動のような回転運動を始めるための突き放しの角度はバーの真上を過ぎて 30 度のところであり、バーを引き始めるための力は垂直線に対して 58 度の方向を示した。しかし上方への力はきわめて少い。バーの水平面を過ぎるまでは順手車輪のときに発揮する力のパターンによく似ている。しかし、水平方向の力を衰退しきれないでいる。バーの真下に近くなって、垂直方向に身体を持ち上げる準備を始める。おそらく、反り身になってから股関節

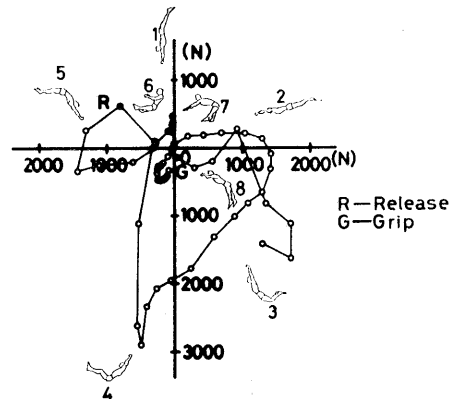


図 12 開脚背面とび越し懸垂の極座標  
(被検者 K. K.)

節の前屈に移行するものと思われる。垂直下方の力は 3000 N に達していない。これを過ぎると、バーに懸垂するように力が垂直に発揮されて、徐々にそれらの大きさが減少していく。両手の位置がバーの水平面までに達してからバーを引くが、その方向は水平線に対し、下後方向 9 度である。それに次いでバーを上方に引きあげながら両手を放している。その手がバーに加えた力の方向は水平面に対し右上がり 78 度と大きな角度を示している。

#### (7) ま と め

これまで述べてきたように、トカチュフ運動は鉄棒のバーの真上から順手車輪状に振り下し運動を開始するが、振り出しの初めからバーを引き上げるような力を加え、落下運動を促進させている。振り下ろしの過程では遠心力を減退させ、垂直下方方向にのみ大きな力がバーに掛るような姿勢変化をもって振り下ろす。そして、振り上げの局面でバーにかかる力の方向もまた垂直方向に近い。しかし、身体重心の軌跡は円運動を示すのである。バーを握っている点における力の発揮される方向と、全身体の重心点が運動している方向に違いがあらわれる原因は、身体が回転運動を起こしているからである。

車輪運動とトカチュフ運動の相違は、バーの水平面より上方を前者がバーに体重を支えられながら倒立姿勢で通過するのに対し、後者は仰臥伸身姿勢をもってバーの上を通過するが、このときの全身体の高さはきわめて近似しているのである。

トカチュフ運動はバーのとび越し運動が主動作であるが、この主動作に影響を与える一連の前運動を無視することはできない。上肢、体幹、下肢の各分節の相対的位

置関係から、体幹を中心とした上肢と下肢の連動の動きが推測された。

決定的因子は手を放す時点の速度と角度である。全身の重心点の軌跡からみた手を放す時点の座標はバーの静止位を  $x=0$ ,  $y=0$  として E. K. 選手が  $x=-64$  cm,  $y=68$  cm, K. K. 選手は  $x=-75$  cm,  $y=70$  cm で、K. K. 選手がバーからやや遠い位置で手を放していた。このときのとび出し角は E. K. 選手が 45 度の斜上方向で、バーの真上に向う。K. K. 選手では 50 度であった。このときの姿勢は仰臥姿勢であり、バーは視野の中にない。とび出し速度をみると、E. K. 選手は 2.8 m/秒 であり、K. K. 選手は 3.0 m/秒 を示した。空中にとび出した全体の重心の最高点は E. K. 選手が  $x=-22$  cm,  $y=100$  cm であり、K. K. 選手が  $x=-30$  cm,  $y=94$  cm であった。

運動そのものの安定性、その運動に続いて起る運動との関係で、これらの値は現われた操作によって変わることは推察されるが、基本的には、安定性ある運動の数値として論議してよいと思われる。

このように、人体の姿勢変化に伴う全身の重心点の運動、上肢、体幹、下肢のそれぞれの回転運動の相互関係、全身の重心点の角加速度、および、両手で握っているバーに加わる力からトカチェフ運動を分析した。

この研究は昭和 59 年度日本体育大学学内奨励研究費の援助を受けた。記して感謝の意をとどめたい。

## 文 献

- 1) Bauer, W. L.: Swinging as a way of increasing the mechanical energy in Gymnastic maneuverers. In: Matsui, H. and K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII-B*. Human kinetic publishers, : 801-806 (1983).
- 2) Borms, J., et al.: Biomechanical study of forward and backward swing. *Biomechanics V-B*. : 309-313 (1976).
- 3) Chapman, T. K. and W. Borchardt: Biomechanical factors underling the dislocate on still rings. *J. Human Movement Studies*, **3**: 221-231 (1977).
- 4) Cureton, T. K.: Elementary principles and techniques of cinematographic analysis as aids in athletic research. *Res. Quart.*, **10**: 3-24 (1939).
- 5) 福田邦三ほか: 大車輪の運動学的研究 (1). *体育学研究*, **5**: 327-334 (1953).
- 6) 福田邦三ほか: 大車輪の運動学的研究 (2). *体育学研究*, **9**: 539-542 (1955).
- 7) 古谷嘉邦: 平行棒の Swing について——スイングの際のフォームとバーに加わる力について——: *東京大学教養学部体育学紀要*, **13**: 23 (1970).
- 8) 吴天宇, 王 湔: 对位变片甲与閃光摄影同步操作进行体操高难动作技术分析的初步探索. *北京体育学院報*, **4**: 48-56 (1982).
- 9) Hay, J. G.: *The biomechanics of sports techniques*. 2nd Ed., Prentice-hall, Inc. : 305-316 (1978).
- 10) Hay, J. G., et al.: Force exerted during exercises on the uneven bars. *Med. Sci. Sports*, **11**: 123-130 (1979).
- 11) Herrman, S.: Motion recording of gymnastic exercise by means of high-speed camera shooting and their analysis. In: Jokl et al. (Eds), *Med. Sport*, **2**: 320-323 (1967).
- 12) 保母宗男: 「背面開脚後ろとび越し」の技法に関する一考察. *日本体操協会研究部報*, **47**: 33-42 (1980).
- 13) 石井喜八, 小松敏彦: 鉄棒のバーにかかる力を測る. *Jap. J. Sports Sci.*, **3**: 147-152 (1984).
- 14) 石井喜八, 小松敏彦: 順手車輪の鉄棒運動中に発現する動作とバーに加わる力の経時変化. *日本体育大学紀要*, **14**: 35-43 (1984).
- 15) 石井喜八, 小松敏彦: 鉄棒運動の巧拙比較. *Jap. J. Sports Sci.*, **4**: 258-265 (1985).
- 16) Josef Goehler, Klaus Wieman: Swings snaps straddles. *International Gymnast*, **7**: 51-52 (1978).
- 17) Maier, I.: Measurement apparatus and analysis methods of biomotor process of sport movements. In: Jokl, et al. (Eds.), *Med. Sports*, **2**: 96-101 (1967).
- 18) 三浦望慶ほか: 部分及び合成重心係数を用いての座標測定方式による合成重心の算出. *体育の科学*, **24**: 517-522 (1974).
- 19) Nissinen, M. A.: Kinematic and kinetic analysis of the giant swing on the rings. *Biomechanics VIII-B*. : 781-786 (1983).
- 20) 岡本 勉: 逆手車輪の分析的研究. *体育学研究*, **15**: 89-94 (1961).
- 21) Sale, G. D. and R. L. Judd: Dynamometric Instrumentation of the rings for analysis of gymnastic movements. *Med. Sci. Sports*, **6**: 209-216 (1974).
- 22) 山下謙智, 高木公三郎, 岡本 勉: 鉄棒運動における順手車輪の筋電図学的研究, *体育学研究*, **15**: 93-102 (1971).
- 23) Winter, D. A.: *Biomechanics of human movement*. John Wiley & Sons. (1975).